CARATTERISTICHE**TECNICHE**

CAPACITA' DI CARICO DEI CUSCINETTI A RULLI CILINDRICI

Il dimensionamento di un cuscinetto a rulli cilindrici avviene in considerazione delle esigenze di capacità di carico e di durata dello stesso. Per i cuscinetti rotanti deve essere preso in considerazione il coefficiente di carico dinamico; per quelli con rotazione occasionale vale il coefficiente di carico statico. I coefficienti di carico e procedimenti di calcolo si riferiscono alle indicazioni delle norme DIN ISO 281/1 e ISO 76. I valori di carico per i cuscinetti a rulli cilindrici sono adeguati alle prestazioni degli stessi confermati nella pratica.

CAPACITA' DI CARICO DINAMICO DEI CUSCINETTI A RULLI CILINDRICI

Il coefficiente di carico dinamico "C" è essenziale per il calcolo dei cuscinetti in rotazione, cioè sollecitati dinamicamente. Esso indica in Kg/N il carico ammissibile per un cuscinetto la cui durata teorica prevedibile sia di 1 milione di giri.

CAPACITA' DI CARICO STATICO DEI CUSCINETTI A RULLI CILINDRICI

Il coefficiente di carico statico "C_o" viene utilizzato per il calcolo dei cuscinetti non rotanti (cioè fermi o soggetti a lente oscillazioni), o rotanti a bassissima velocità.
Il coefficiente di carico statico "C_o" si definisce come quel carico statico che, nel punto di contatto più sollecitato, determina una deformazione permanente complessiva dei corpi volventi e delle piste pari a 1/10 000 del diametro dei corpi volventi.

CAPACITA' DI CARICO ASSIALE DEI CUSCINETTI RADIALI A RULLI CILINDRICI

I cuscinetti a rulli cilindrici nelle esecuzioni C.R. possono assorbire considerevoli spinte assiali in aggiunta ad elevati carichi radiali. La portata assiale dei cuscinetti radiali dipende dalle dimensioni dei bordi del cuscinetto rispetto alle superfici frontali dei corpi di rotolamento. La capacità di carico delle superfici di contatto dipende dalla velocità di strisciamento e dalla lubrificazione. Con formule specifiche si ottengono i valori di carico assiale che i cuscinetti C.R. possono sopportare con continuità, temporaneamente e alternativamente.

LUBRIFICAZIONE

Una lubrificazione determinata esattamente ed intervalli regolari di manutenzione sono premesse importanti per la durata dei cuscinetti volventi.
Il lubrificante svolge le seguenti funzioni:

- Forma una pellicola di portata sufficiente che separa le superfici di contatto.
- Permette l'asportazione del calore (lubr. ad olio).
- Permette la tenuta del cuscinetto (lubr. a grasso) dall'esterno impedendo l'entrata d'agenti solidi o liquidi.
- Abbassa la rumorosità del cuscinetto.
- Protegge dalla corrosione.

I cuscinetti volventi possono essere lubrificati per scelta tecnica a grasso o ad olio secondo:

- Forma costruttiva e dimensione del cuscinetto.

- Tipo d'esecuzione degli alloggiamenti e delle parti a contatto con i cuscinetti.
- Condizioni d'esercizio.

LUBRIFICAZIONE A GRASSO

La scelta del grasso lubrificante deve essere eseguita in base alle nozioni specifiche dei produttori di lubrificanti.
Per i cuscinetti volventi s'impiegano grassi lubrificanti che a temperature basse non presentino elevata densità.
Per i cuscinetti che funzionano a velocità consistente si scelgono grassi a bassa viscosità dinamica.
Per cuscinetti funzionanti a basso regime si utilizzano grassi con maggiore viscosità dinamica.
Nel caso di un'elevata sollecitazione del cuscinetto, C.R. raccomanda l'utilizzo di grassi lubrificanti con caratteristiche EP e viscosità elevata dell'olio base.
Normalmente il cuscinetto non dovrebbe superare una temperatura di 90°C, in questo modo non si alterano le prestazioni del grasso.
L'invecchiamento del lubrificante è influenzato dalle condizioni ambientali.
In base all'esperienza maturata, C.R. può garantire una conservazione sino a tre anni, purché siano rispettate le seguenti condizioni:

- Ambiente chiuso (magazzino).
- Temperatura tra 0°C e 40°C.
- Umidità dell'aria non oltre il 70%
- Impossibilità di contaminazione da parte d'agenti chimici.

Dopo il periodo di giacenza a magazzino superiore a tre anni può risultare diminuito il potere lubrificante del grasso. In caso non fosse possibile la rilubrificazione, diventa fondamentale la durata del grasso.
Per ragioni di sicurezza è necessario tenere presente che un grasso lubrificante non ha di norma una durata superiore a tre anni.
Verificato che il cuscinetto sia ancora funzionale, dovrà essere pulito e lubrificato con la stessa quantità di grasso iniziale.
Quando è possibile la rilubrificazione deve avvenire alla temperatura di funzionamento e con il cuscinetto in rotazione.
La quantità di grasso necessaria può variare dal 20% all'80% rispetto a quella iniziale.
E' necessario verificare che il grasso usato in precedenza possa fuoriuscire liberamente.
L'intervallo di lubrificazione può essere determinato con esattezza solo con verifiche effettuate durante le reali condizioni di funzionamento. Si può stabilire un valore indicativo dell'intervallo di lubrificazione seguendo formule di calcolo specifiche.

LUBRIFICAZIONE AD OLIO

La lubrificazione ad olio garantisce la buona distribuzione del mezzo lubrificante e delle superfici portanti. La lubrificazione ad olio, è usata nel caso in cui le parti macchina adiacenti al cuscinetto sono già lubrificate ad olio, oppure in cui si rende necessario l'asportazione di calore dal supporto.
Per la lubrificazione ad olio sono adatti gli oli a base di olio minerale od olio di sintesi.
Gli oli minerali additivati possono essere impiegati per temperature di funzionamento continuo sino a +120°C; gli oli sintetici fino a +210°C.
Per motivi di sicurezza di funzionamento, C.R. consiglia oli lubrificanti con additivi EP.
Essi devono essere impiegati nei seguenti casi:

- Cuscinetti radiali a rulli cilindrici soggetti a carichi elevati con aggiunta di spinte assiali.
- Cuscinetti assiali a rulli cilindrici. Prima dell'impiego d'oli lubrificanti è necessario verificare la loro compatibilità con le materie plastiche, metalli non ferrosi o leghe leggere.

I sistemi di lubrificazione più frequenti sono i seguenti:

- Lubrificazione a goccia d'olio, impiegata per cuscinetti radiali funzionanti ad un elevato numero di giri e provvisti di foro di lubrificazione sull'anello esterno.
- Lubrificazione a bagno d'olio o lubrificazione ad immersione o con coppa d'olio, è valida per i cuscinetti radiali.
- Lubrificazione a nebbia d'olio e lubrificazione aria-olio particolarmente adatte per i cuscinetti radiali funzionanti ad un elevato numero di giri in presenza di un carico ridotto.
- Lubrificazione a ricircolazione d'olio con possibilità di filtrare e raffreddare continuamente il lubrificante, vantaggiosa per togliere del calore ai cuscinetti funzionanti ad elevata temperatura.

Durante la fase di rodaggio, si presenta una notevole contaminazione del lubrificante, in tal caso l'olio deve essere sostituito al termine del rodaggio stesso.
Di norma è sufficiente un cambio d'olio l'anno, se la temperatura del cuscinetto rimane inferiore ai 60°C e con impurità minime.
In condizioni sfavorevoli C.R. raccomanda di controllare il lubrificante ad intervalli regolari, con il produttore dell'olio.

MONTAGGIO, SMONTAGGIO E LAVAGGIO

I cuscinetti C.R. sono articoli di precisione, richiedono pertanto un trattamento estremamente accurato prima e durante la fase di montaggio.
Il loro funzionamento corretto dipende principalmente da quanto sopra indicato.

MONTAGGIO

Il luogo dove avviene il montaggio deve essere assolutamente privo di polvere.
Prima del montaggio è necessario controllare sia il foro dell'alloggiamento sia il diametro dell'albero dove andrà posto il cuscinetto.
Per un corretto montaggio è utile essere in possesso d'adeguata attrezzatura e di una pressa, in caso contrario, il montaggio può avvenire tramite colpi centrali assestanti sui bordi della bussola.
Attenzione ! In nessun caso, spinte o colpi devono essere trasmessi ai corpi volventi in fase di montaggio.
Devono inoltre essere evitate azioni deformanti sugli anelli dei cuscinetti.
Il montaggio degli anelli esterni e interni viene agevolato da smussi o raggi eseguiti appositamente, e da un leggero trattamento delle varie superfici con lubrificazione.
Il montaggio degli anelli interni sull'albero, in presenza d'interferenze, si ottiene tramite il riscaldamento degli stessi con lo specifico apparecchio ad induzione.
Non disponendo di tale apparecchio il riscaldamento degli anelli viene effettuato in bagno d'olio o in forno ad una temperatura di circa 110°C.
Per il montaggio del cuscinetto nell'alloggiamento previsto si consiglia un raffreddamento dello stesso.
E' necessario effettuare una prova di funzionamento del cuscinetto a montaggio avvenuto.

SMONTAGGIO

Al fine di poter smontare il cuscinetto, in fase di progetto bisogna prevedere dei fori filettati o delle cavità apposite in cui si possa applicare l’estrattore.
Quando è previsto il riutilizzo del cuscinetto, lo smontaggio deve avvenire con cura estrema evitando colpi di rotolamento.
Per assicurarsi che in seguito funzioni regolarmente, il cuscinetto deve essere pulito a fondo, possibilmente scomposto nei diversi particolari.

LAVAGGIO

Per sgrassare e lavare i cuscinetti possono essere utilizzati i seguenti detergenti:
- Detergenti a base d’acqua
- Detergenti organici

I detergenti a base d’acqua possono essere neutri, acidi o alcalini.
I detergenti organici sono il petrolio, purché senza acqua e acidi, e la benzina (non quella per autotrazione). Dopo il lavaggio i cuscinetti devono essere asciugati immediatamente e trattati con lubrificazione adatta.

CALCOLO DELLA DURATA

La durata del cuscinetto dipende dal carico applicato e dal numero di giri, viene calcolato nel seguente modo:

$$L = (C/P)^p \qquad L_h = (16666/n) \cdot (C/P)^p$$

$L = 10^6$ La durata del cuscinetto dipende dal carico. Durata nominale in milioni di giri, che viene raggiunta o superata dal 90% di un numero sufficientemente rappresentativo di cuscinetti uguali, prima che compaiano i primi segni di affaticamento del materiale.

$L_h = h$ Durata nominale in ore di funzionamento, corrispondente alla definizione L.

$C = N$ Coefficiente di carico dinamico. Per i cuscinetti radiali, C corrisponde ad un carico di entità e direzione costanti in seguito al quale un numero sufficientemente rappresentativo di cuscinetti uguali raggiunge una durata nominale di un milione di giri. Per i cuscinetti assiali, C corrisponde al carico assiale agente in posizione centrale.

$P = N$ Carico equivalente sul cuscinetto per i cuscinetti radiali o assiali

p Esponente di durata
$p=10/3$ per cuscinetti a rullini ed a rulli cilindrici

$n = min^{-1}$ Numero di giri di funzionamento

INTERVALLO BASE DI LUBRIFICAZIONE

L'intervallo base di lubrificazione "tf", dipende dal coefficiente di velocità GKW e viene rilevato dal diagramma 02 secondo la seguente formula, tenendo conto del tipo di cuscinetto "K_L" come pure del numero di giri "n" e del diametro medio "d_M" del cuscinetto stesso.

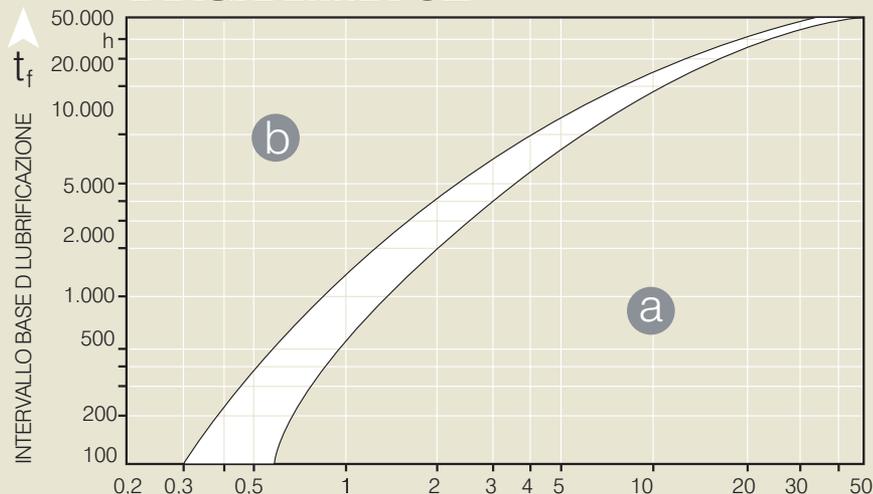
$$GKW = \frac{K_L \cdot 270.000}{(n \cdot d_M)}$$

GKW = Coefficiente di velocità
K_L = Tabella 01
n = Numero di giri
d_M = Diametro medio

TAB 01	TIPO DI CUSCINETTO	K_L
	Rulli di appoggio e perni folli, con gabbia a pieno riempimento	*0,3*
	Rulli di appoggio e perni folli, a pieno riempimento di rulli	*0,15*
	Cuscinetti a rulli cilindrici	*0,8*
	Cuscinetti assiali a rulli cilindrici	*0,08*

PREMESSE PER L'INTERVALLO DI LUBRIFICAZIONE

PREMESSE	CONDIZIONI
Temperatura cuscinetto	*Fino a 70°c*
Rapporto carico	*Co/p=20*
Numero di giri e carico	*Costante*
Carico nella direzione principale	*Radiale su cuscinetto radiale - Assiale su cuscinetto assiale*
Grasso lubrificante	*Grasso al sapone di litio*
Asse di rotazione	*Orizzontale per cuscinetti radiali*
Anello interno	*Volvente*
Influenza dell'ambiente esterno	*Non influente*

DIAGRAMMA 02

COEFFICIENTE DI SICUREZZA STATICO

Il coefficiente di sicurezza statico determina il grado di sicurezza contro le deformazioni del cuscinetto e viene calcolato con la seguente formula:

$$S_0 = C_0 / F_0$$

S_0	=	Coefficiente di sicurezza statico	
C_0	=	Coefficiente di carico statico	(N)
F_0	=	Carico massimo sul cuscinetto	(N)

Con un coefficiente di sicurezza statico $S_0 < 8$ i cuscinetti sono molto sollecitati e con un coefficiente $S_0$³8 i cuscinetti sono mediamente o poco sollecitati.

VALORI INDICATIVI DEL COEFFICIENTE DI SICUREZZA STATICO

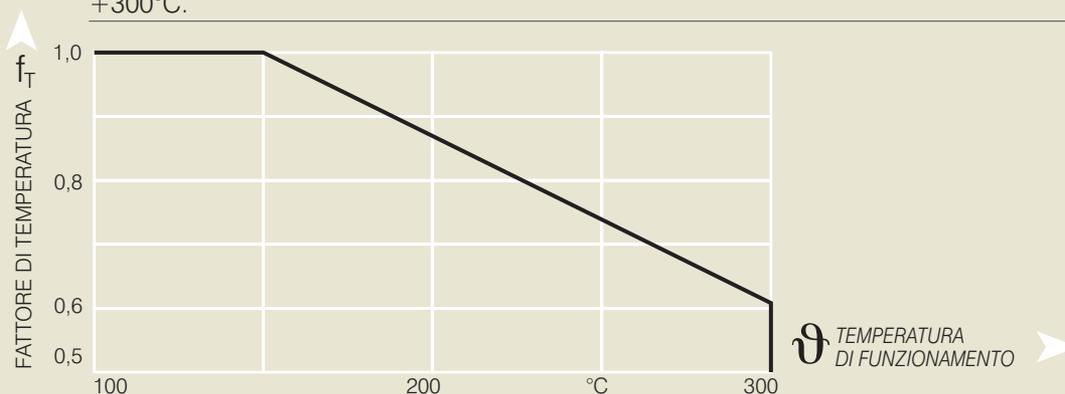
CASO DI APPLICAZIONE	S_0
Funzionamento silenzioso, con poche vibrazioni e funzionamento normale con esigenze minime di silenziosità: cuscinetto con rotazione minima.	³1
Funzionamento normale con maggiori esigenze di silenziosità.	³2
Funzionamento con elevati carichi ad urto.	³3
Supporto con elevate esigenze di precisione di rotazione e silenziosità.	³4

INFLUENZA DELLA TEMPERATURA SUL CUSCINETTO

La temperatura influisce sul cuscinetto con una riduzione della capacità di carico dinamico “C”. Tale effetto viene valutato mediante la seguente formula di correzione:

$$C_T = f_T \cdot C$$

C_T	=	Coefficiente di carico dinamico effettivo per temperature elevate
f_T	=	Fattore di temperatura secondo il grafico 03
C	=	Coefficiente di carico dinamico

La riduzione della durezza, legata all’aumento di temperatura, influisce in modo irrilevante sulla capacità di carico statico “C_0”e la si può quindi trascurare fino a temperature di +300°C.

GIUOCO DI FUNZIONAMENTO E GIUOCO RADIALE DEL CUSCINETTO

L'ottimo funzionamento di un cuscinetto volvente dipende in modo particolare da un corretto giuoco di funzionamento.
Esso è stabilito dal giuoco radiale e dalla modifica del giuoco radiale in conseguenza dell'interferenza di montaggio e della temperatura in fase di lavoro.

GIUOCO DI FUNZIONAMENTO

Con giuoco di funzionamento si definisce l'entità dello spostamento in senso radiale dell'albero rispetto all'anello esterno a cuscinetto montato.
Il giuoco di funzionamento risulta dalla riduzione del giuoco radiale in funzione delle interferenze di montaggio e dalle influenze della temperatura.
La riduzione del giuoco radiale del cuscinetto montato dovuta agli accoppiamenti risulta dall'espansione dell'anello interno e dalla contrazione dell'anello esterno.
La differenza di temperatura tra anello interno e quello esterno può causare una riduzione o un aumento del giuoco di funzionamento.

GIUOCO RADIALE DEL CUSCINETTO

Il giuoco radiale del cuscinetto volvente non montato è espresso dall'entità dello spostamento in senso radiale, da una posizione estrema all'altra, dell'anello interno nei confronti dell'anello esterno.
Il giuoco radiale dei cuscinetti viene suddiviso in quattro gruppi (Vedi tabella 04). I cuscinetti C.R. prodotti con un giuoco normale CN garantiscono un giuoco di funzionamento appropriato in condizioni applicative normali purchè siano state previste le tolleranze per albero ed alloggiamento.
I giuochi C3 e C4 vengono presi in considerazione principalmente per i cuscinetti di grandi dimensioni soggetti a carichi elevati ed anche nei casi in cui gli anelli dei cuscinetti vengano montati forzati o quando si abbiano delle notevoli differenze di temperatura dell'anello interno a quello esterno.
I cuscinetti con giuoco radiale C2 devono essere impiegati solo in casi eccezionali; ad esempio in presenza d'elevati carichi alterni combinati con movimenti oscillanti e con numero di giri limitato.
In tali casi si raccomanda di controllare attentamente i cuscinetti in funzionamento poiché si deve prevedere un maggiore riscaldamento. I valori dei giuochi radiali C2, CN, C3, C4 sono riportati nella tabella 05.
Il giuoco dei cuscinetti, fatta eccezione per quello CN, viene espressamente richiesto dal cliente.

TAB 04	CAMPO	SIGNIFICATO
	C2	*Giuoco radiale dei cuscinetti inferiore a CN*
	CN	*Giuoco radiale dei cuscinetti normale*
	C3	*Giuoco radiale dei cuscinetti superiore a CN*
	C4	*Giuoco radiale dei cuscinetti superiore a C3*

TAB 05	Ø nominale dei fori in mm. d		Giuoco radiale dei cuscinetti in μm. C2		CN		C3		C4	
	oltre	fino a	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.
	-	24	0	25	20	45	35	60	50	75
	24	30	0	25	20	45	35	60	50	75
	30	40	5	30	25	50	45	70	60	85
	40	50	5	35	30	60	50	80	70	100
	50	65	10	40	40	70	60	90	80	110
	65	80	10	45	40	75	65	100	90	125
	80	100	15	50	50	85	75	110	105	140
	100	120	15	55	50	90	85	125	125	165
	120	140	15	60	60	105	100	145	145	190
	140	160	20	70	70	120	115	165	165	215
	160	180	25	75	75	125	120	170	170	220
	180	200	35	90	90	145	140	195	195	250
	200	225	45	105	105	165	160	220	220	280
	225	250	45	110	110	175	170	235	235	300
	250	280	55	125	125	195	190	260	260	330
	280	315	55	130	130	205	200	275	275	350
	315	355	65	145	145	225	225	305	305	385
	355	400	100	190	190	280	280	370	370	460
	400	450	110	210	210	310	310	410	410	510
	450	500	110	220	220	330	330	440	440	550

TOLLERANZE DEI CUSCINETTI RADIALI

Le tolleranze dei cuscinetti a rulli cilindrici sono previste secondo la normativa DIN 620, parte 2 e 3. Di norma i cuscinetti C.R. corrispondono alla classe PN, nel caso in cui fossero necessari cuscinetti con maggior precisione, le tolleranze possono essere ridotte ai valori delle classi P6 e P5.

Simboli dimensionali e di tolleranza

Simboli	d		C4
d	*Diametro nominale del foro*		
D_{dmp}	*Scostamento del diametro medio del foro in un piano*		
V_{dp}	*Variazione del diametro del foro in un singolo piano radiale*	○	*Circolarità*
V_{dmp}	*Variazione del diametro medio del foro*	//	*Parallelismo*
D	*Diametro esterno nominale*		
D_{Dmp}	*Scostamento del diametro esterno medio in un singolo piano radiale*		
V_{Dp}	*Variazione del diametro esterno in un singolo piano radiale*	○	*Circolarità*
V_{Dmp}	*Variazione del diametro esterno medio*	//	*Parallelismo*
D_{Bs}	*Scostamento di una misura singola della larghezza dell'anello interno*		
V_{Bs}	*Variazione della larghezza dell'anello interno*	//	*Parallelismo*
D_{Cs}	*Scostamento di una singola larghezza dell'anello esterno*		
V_{Cs}	*Variazione della larghezza dell'anello esterno*	//	*Parallelismo*
K_{ia}	*Difetto radiale di rotazione dell'anello interno misurabile sul cuscinetto montato*	◎	*Concentricità*
K_{ea}	*Difetto radiale di rotazione dell'anello esterno misurabile sul cuscinetto montato*	◎	*Concentricità*
S_d	*Difetto di quadratura delle facciate rispetto al foro*	⏥	*Planarità*
S_D	*Variazione dell'inclinazione della superficie cilindrica esterna riferita alle superfici laterali*	⏥	*Planarità*

CLASSE DI TOLLERANZA PN (tolleranza normale)

TAB 06

Valori tolleranze in µm

ANELLI INTERNI

d		Scostamento Δ_{dmp}		Serie di diametri V_{dp}			V_{dmp}	K_{ia}	Scostamento Δ_{Bs}		V_{Bs}
mm.				8,9	0	2,3					
oltre	fino a	sup.	fino a	max			max	max	sup.	inf.	max
0,6 [1]	2,5	0	-8	10	8	6	6	10	0	-40	12
2,5	10	0	-8	10	8	6	6	10	0	-120	15
10	18	0	-8	10	8	6	6	10	0	-120	20
18	30	0	-10	13	10	8	8	13	0	-120	20
30	50	0	-12	15	12	9	9	15	0	-120	20
50	80	0	-15	19	19	11	11	20	0	-150	25
80	120	0	-20	25	25	15	15	25	0	-200	25
120	180	0	-25	31	31	19	19	30	0	-250	30
180	250	0	-30	38	38	23	23	40	0	-300	30
250	315	0	-35	44	44	26	26	50	0	-350	35
315	400	0	-40	50	50	30	30	60	0	-400	40
400	500	0	-45	56	56	34	34	65	0	-450	50
500	630	0	-50	63	63	38	38	70	0	-500	60
630	800	0	-75	-	-	-	-	80	0	-750	70
800	1000	0	-100	-	-	-	-	90	0	-1000	80
1000	1250	0	-125	-	-	-	-	100	0	-1250	100
1250	1600	0	-160	-	-	-	-	120	0	-1600	120
1600	2000	0	-200	-	-	-	-	140	0	-2000	140

(1) Questo diametro è compreso

TAB 06.1

Valori tolleranze in µm

ANELLI ESTERNI

D		Scostamento Δ_{Dmp}		Serie di diametri V_{Dp} (2)			V_{Dmp}	K_{ea}	Scostamento Δ_{Cs}	V_{Cs}
mm.				8,9	0	2,3				
oltre	fino a	sup.	fino a	max			max	max	Identico a Δ_{Bs} e V_{Bs} per l'anello interno dello stesso cuscinetto (vedere tabella 06)	
2,5 [1]	6	0	-8	10	8	6	6	15		
6	18	0	-8	10	8	6	6	15		
18	30	0	-9	12	9	7	7	15		
30	50	0	-11	14	11	8	8	20		
50	80	0	-13	16	13	10	10	25		
80	120	0	-15	19	19	11	11	35		
120	150	0	-18	23	23	14	14	40		
150	180	0	-25	31	31	19	19	45		
180	250	0	-30	38	38	23	23	50		
250	315	0	-35	44	44	26	26	60		
315	400	0	-40	50	50	30	30	70		
400	500	0	-45	56	56	34	34	80		
500	630	0	-50	63	63	38	38	100		
630	800	0	-75	94	94	55	55	120		
800	1000	0	-100	125	125	75	75	140		
1000	1250	0	-125	-	-	-	-	160		
1250	1600	0	-160	-	-	-	-	190		
1600	2000	0	-200	-	-	-	-	220		
2000	2500	0	-250	-	-	-	-	250		

(1) Questo diametro è compreso

(2) Valido prima dell'assemblaggio del cuscinetto e/o dopo aver smontato gli anelli elastici interni e/o esterni

CLASSE DI TOLLERANZA P6

TAB 07

Valori tolleranze in µm

ANELLI INTERNI

d		Scostamento Δ_{dmp}		Serie di diametri V_{dp}			V_{dmp}	K_{ia}	Scostamento Δ_{Bs}		V_{Bs}
mm.				8,9	0	2,3					
oltre	fino a	sup.	fino a	max			max	max	sup.	inf.	max
0,6 (1)	2,5	0	-7	9	7	5	5	5	0	-40	12
2,5	10	0	-7	9	7	5	5	6	0	-120	15
10	18	0	-7	9	7	5	5	7	0	-120	20
18	30	0	-8	10	8	6	6	8	0	-120	20
30	50	0	-10	13	10	8	8	10	0	-120	20
50	80	0	-12	15	15	9	9	10	0	-150	25
80	120	0	-15	19	19	11	11	13	0	-200	25
120	180	0	-18	23	23	14	14	18	0	-250	30
180	250	0	-22	28	28	17	17	20	0	-300	30
250	315	0	-25	31	31	19	19	25	0	-350	35
315	400	0	-30	38	38	23	23	30	0	-400	40
400	500	0	-35	44	44	26	26	35	0	-450	45
500	630	0	-40	50	50	30	30	40	0	-500	50

(1) Questo diametro è compreso

TAB 07.1

Valori tolleranze in µm

ANELLI ESTERNI

D		Scostamento Δ_{Dmp}		Serie di diametri V_{Dp} (2)			V_{Dmp}	K_{ea}	Scostamento Δ_{Cs}	V_{Cs}
mm.				8,9	0	2,3				
oltre	fino a	sup.	fino a	max			max	max	Identico a Δ_{Bs} e V_{Bs} per l'anello interno dello stesso cuscinetto (vedere tabella 07)	
2,5 (1)	6	0	-7	9	7	5	5	8		
6	18	0	-7	9	7	5	5	8		
18	30	0	-8	10	8	6	6	9		
30	50	0	-9	11	9	7	7	10		
50	80	0	-11	14	11	8	8	13		
80	120	0	-13	16	16	10	10	18		
120	150	0	-15	19	19	11	11	20		
150	180	0	-18	23	23	14	14	23		
180	250	0	-20	25	25	15	15	25		
250	315	0	-25	31	31	19	19	30		
315	400	0	-28	35	35	21	21	35		
400	500	0	-33	41	41	25	25	40		
500	630	0	-38	48	48	29	29	50		
630	800	0	-45	56	56	34	34	60		
800	1000	0	-60	75	75	45	45	75		

(1) Questo diametro è compreso

(2) Valido prima dell'assemblaggio del cuscinetto e/o dopo aver smontato gli anelli elastici interni e/o esterni

CLASSE DI TOLLERANZA P5

TAB 08

Valori tolleranze in µm

ANELLI INTERNI

d		Scostamento Δ_{dmp}		Serie di diametri V_{dp}		V_{dmp}	K_{ia}	Scostamento Δ_{Bs}		V_{Bs}
mm.				8,9	0,2,3					
oltre	fino a	sup.	fino a	max		max	max	sup.	inf.	max
0,6 (1)	2,5	0	-5	5	4	3	4	0	-40	5
2,5	10	0	-5	5	4	3	4	0	-40	5
10	18	0	-5	5	4	3	4	0	-80	5
18	30	0	-6	6	5	3	4	0	-120	5
30	50	0	-8	8	6	4	5	0	-120	5
50	80	0	-9	9	7	5	5	0	-150	6
80	120	0	-10	10	8	5	6	0	-200	7
120	180	0	-13	13	10	7	8	0	-250	8
180	250	0	-15	15	12	8	10	0	-300	10
250	315	0	-18	18	14	9	13	0	-350	13
315	400	0	-23	23	18	12	15	0	-400	15

(1) Questo diametro è compreso

TAB 08.1

Valori tolleranze in µm

ANELLI ESTERNI

D		Scostamento Δ_{Dmp}		Serie di diametri V_{Dp} (2)		V_{Dmp}	K_{ea}	Scostamento Δ_{Cs}	V_{Cs}
mm.				8,9	0,2,3				
oltre	fino a	sup.	fino a	max		max	max	Identico a Δ_{Bs} e V_{Bs} per l'anello interno dello stesso cuscinetto (vedere tabella 08)	max
2,5 (1)	6	0	-5	5	4	3	5		5
6	18	0	-5	5	4	3	5		5
18	30	0	-6	6	5	3	6		5
30	50	0	-7	7	5	4	7		5
50	80	0	-9	9	7	5	8		6
80	120	0	-10	10	8	5	10		8
120	150	0	-11	11	8	6	11		8
150	180	0	-13	13	10	7	13		8
180	250	0	-15	15	11	8	15		10
250	315	0	-18	18	14	9	18		11
315	400	0	-20	20	15	10	20		13
400	500	0	-23	23	17	12	23		15
500	630	0	-28	28	21	14	25		18
630	800	0	-35	35	26	18	30		20

(1) Questo diametro è compreso

(2) Valido prima dell'assemblaggio del cuscinetto e/o dopo aver smontato gli anelli elastici interni e/o esterni

PROBLEMATICHE DI FUNZIONAMENTO

Cause del danneggiamento

Premessa

In qualsiasi condizione di lavoro, l'ambiente circostante è fonte continua di eventi perturbanti, che in maggior parte risultano difficilmente prevedibili. Nel caso dei cuscinetti, le possibili cause di danneggiamento e non corretto funzionamento sono molteplici.

Cause

E' possibile identificare le seguenti cause di malfunzionamento:

carichi di lavoro;
velocità di rotazione;
ambiente circostante.

Carichi di lavoro

La fase di progetto prevede condizioni ideali di carico: si suppongono quindi noti modulo, direzione e distribuzione del carico stesso.
Le reali condizioni di lavoro possono però portare a sollecitazioni ben distinte da quelle previste in fase di progetto. Visto come parte integrante di un impianto, il cuscinetto deve così sopportare urti, vibrazioni e carichi non uniformemente distribuiti. Ricercare i motivi di un malfunzionamento può non essere semplice, anche a causa della complessità dei sistemi produttivi di cui i cuscinetti entrano a far parte. Ciò nonostante, l'analisi visiva dei segni di usura può aiutare l'indagine.
Le due figure successive mostrano un esempio di semplice carico radiale che, a causa di un non corretto allineamento, viene applicato solo su una parte ridotta della superficie di contatto prevista a progetto. Come risultato la parte della superficie non caricata resta lucida, mentre su una estremità sono evidenti i segni di usura del sovraccarico.

Anello esterno con evidenti segni di malfunzionamento dovuto a disallineamento; la parte di anello esterno non danneggiata si presenta ancora lucida.

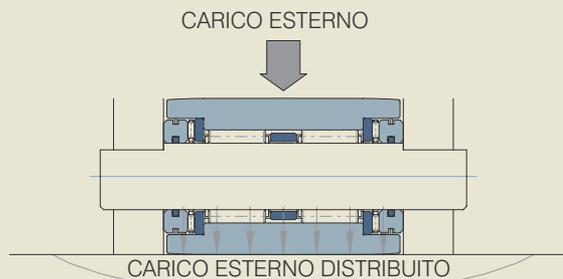
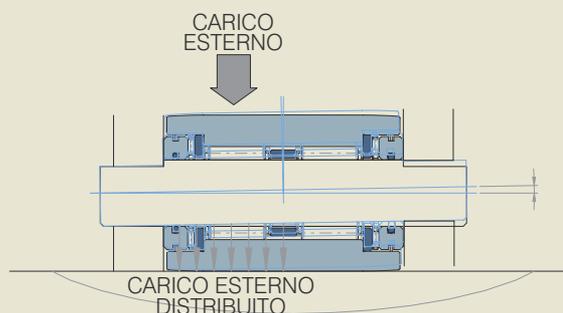
Perno con segni di danneggiamento dovuto al non corretto allineamento; la parte di perno non danneggiata si presenta ancora lucida.

Il non corretto allineamento comporta l'insorgere di una componente assiale non prevista, difficilmente quantificabile in entità, che il cuscinetto non è in grado di sopportare. Questa forza assiale porta allo strisciamento dei rulli sugli spallamenti di guida e quindi al bloccaggio del cuscinetto (vedi figura successiva).

Cuscinetto danneggiato sugli orletti di guida e sulle piste dell'anello esterno, causa insorgenza di spinte assiali.

Questi due fattori associati (spinta assiale e strisciamento) innescano in breve tempo elevata usura con distacco di materiale e relativa contaminazione e degrado del lubrificante, associata ad un aumento notevole di temperatura fino al rinvenimento dell'acciaio (durezza < 40 HRC).

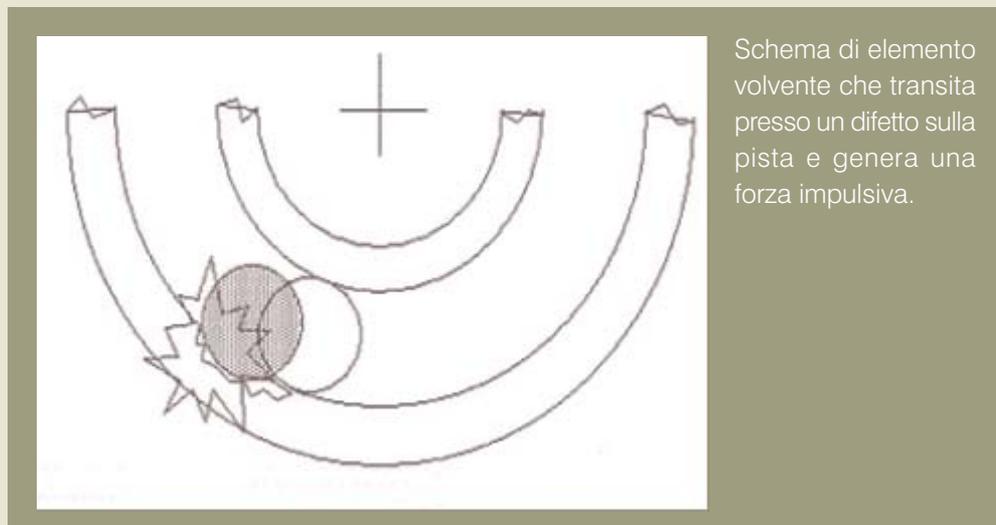
A titolo di chiarimento riportiamo uno schema con esempio numerico per meglio comprendere l'importanza dell'allineamento.

Configurazione di carico con perfetto allineamento: il carico viene distribuito uniformemente su tutta la superficie di contatto; il cuscinetto lavora in modo corretto lungo tutta la sua superficie.

Configurazione di carico con non perfetto allineamento: il carico viene distribuito non uniformemente su tutta la superficie di contatto; il cuscinetto lavora in modo anomalo lungo una porzione della sua superficie che risulta quindi sovraccaricata rispetto al funzionamento corretto.

Schema vettoriale di configurazione di carico con non perfetto allineamento: nasce una componente assiale non prevista dovuta all'angolo i.

Esempio numerico:
E' immediato verificare come da leggeri disallineamenti possano insorgere forti spinte assiali che crescono in intensità con il crescere dell'angolo i di disallineamento.

Angolo di disallineamento i	=	**1°**
Carico esterno di progetto	=	**300kN**
Carico assiale effettivo	=	**300·sen(1°) ≅ 5kN**
Carico radiale effettivo	=	**300·cos(1°) ≅ 299.9kN**

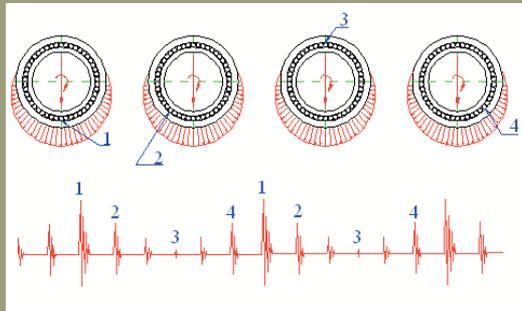
Altre cause di possibile malfunzionamento e riduzione di vita utile del cuscinetto sono gli urti e/o vibrazioni.
Gli urti si verificano ogni qual volta le variazioni del carico sono applicate impulsivamente provocando a livello locale elevate sollecitazioni che possono generare sugli elementi sensibili del cuscinetto impronte e riporti.
Suddetti danni possono generare l'innesco di cricche e fessurazioni che possono portare al collasso strutturale.
Le vibrazioni sono il fenomeno più preoccupante in quanto rappresentano una tipologia di sollecitazione difficilmente individuabile e spesso provocata da danni pregressi provocati da urti.
Nel caso specifico l'insorgere delle vibrazioni si verifica ogni volta che un elemento volvente attraversa un danno superficiale o quando il danno stesso è presente sull'elemento volvente. I ripetuti impatti originano "treni" di forze impulsive che sono sorgenti di vibrazioni e, di conseguenza, fonti di rumore.
La frequenza caratteristica di tali vibrazioni è proporzionale alla velocità di rotazione del cuscinetto, alla geometria del cuscinetto, al numero di corpi volventi e alla localizzazione del danno.

Schema di elemento volvente che transita presso un difetto sulla pista e genera una forza impulsiva.

Quanto appena detto è facilmente riscontrabile valutando i fattori che influenzano l'insorgere delle vibrazioni in due differenti condizioni di lavoro di seguito riportate.

1° CONDIZIONE DI LAVORO

Tale situazione presenta le seguenti caratteristiche:

- carico costante;
- anello interno/perno fisso;
- anello esterno rotante;
- difetto localizzato sulla pista di rotolamento dell'anello esterno o sulla superficie di un corpo volvente.

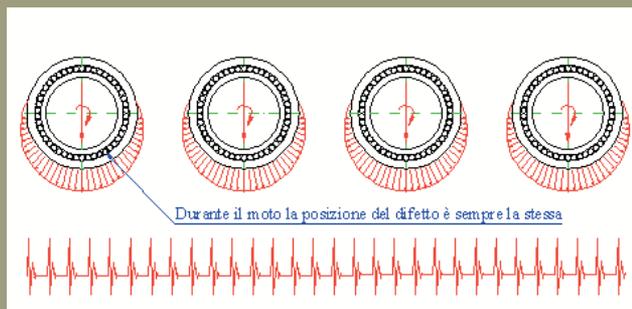
In questa prima condizione di lavoro il carico agente al momento del passaggio sul difetto dipende dalla posizione radiale del difetto stesso perciò varia periodicamente, quindi l'intensità dell'impulso è modulata.

1° condizione di lavoro: in tale caso possiamo distinguere quattro situazioni:

1. il difetto è nella porzione di anello esterno maggiormente caricata; si genera un impulso di massima ampiezza;
2. il difetto è nella porzione di anello esterno mediamente caricata; si genera un impulso di media ampiezza;
3. il difetto è nella posizione non caricata; l'ampiezza dell'impulso è trascurabile;
4. il difetto è nuovamente nella posizione mediamente caricata; il ciclo di impulsi inizia a ripetersi.

2° CONDIZIONE DI LAVORO

Tale situazione presenta le seguenti caratteristiche:

- carico costante;
- anello interno/perno fisso;
- anello esterno rotante;
- difetto localizzato sulla pista di rotolamento dell'anello interno/perno.

In questa seconda condizione di lavoro il carico agente sul difetto è costante e determina unicamente l'intensità dell'impulso; non viene generata una modulazione come avveniva nella prima situazione.

2° condizione di lavoro:

in tale caso si nota che la ampiezza dell'impulso è costante in quanto il difetto rimane fermo.

Indipendentemente dalle condizioni di lavoro, le vibrazioni sono una problematica notevolmente importante in quanto agiscono andando a sovraccaricare con sollecitazioni di fatica il cuscinetto e di difficile determinazione in quanto influenzate da molteplici fattori.

Velocità di rotazione

Un essenziale fattore di progettazione del cuscinetto è la velocità di rotazione determinata in base al dimensionamento ed all'esecuzione dello stesso, compatibilmente con le specifiche necessità del cliente.
Tale fattore risulta essere di estrema delicatezza in quanto ad esso sono direttamente collegati il degrado del lubrificante e la vita del cuscinetto stesso.
Oltre a tali aspetti la velocità di rotazione agisce in modo indiretto sul cuscinetto in quanto va ad esaltare gli effetti delle vibrazioni ed eventuali danni sui corpi volventi e/o piste di rotolamento.

Ambiente esterno

L'ambiente in cui il cuscinetto si trova a lavorare è un altro di quei fattori da tenere in debita considerazione in quanto in esso si possono ritrovare:

- vibrazione derivanti da organi in movimento della macchina che in modo indiretto influenzano il cuscinetto; in questo caso la peggiore situazione si riscontra quando un cuscinetto sottoposto a suddette vibrazioni si trova ad essere scarico e fermo;

- ambiente corrosivo e/o contaminato; è un fattore da tenere in grande considerazione fin dalla fase progettuale del cuscinetto in quanto si può avere intrusione di polveri fini nel cuscinetto (prevedere sistemi di tenuta più efficienti del normale), vi possono essere atmosfere particolarmente corrosive (prevedere idonei agenti protettivi per salvaguardare l'integrità del cuscinetto);

- elevate temperature; in tale caso il cuscinetto deve essere progettato in funzione delle possibili dilatazioni termiche dei suoi componenti prevedendo giochi e tolleranze adatte; i trattamenti termici dovranno essere previsti anche in funzione del campo di temperature in cui il cuscinetto andrà ad operare quindi dovrà essere prevista una adatta stabilizzazione dei componenti onde evitare rinvenimenti dei materiali.

Fenomeni di danneggiamento

Premessa

I cuscinetti rappresentano uno dei componenti "critici" negli impianti in cui si trovano ad operare in quanto devono soddisfare le esigenze di carico imposte dal progettista dell'impianto stesso e simultaneamente garantire elevati livelli di affidabilità e di sicurezza durante il funzionamento.
Sfortunatamente esistono diverse cause che rendono il cuscinetto non più idoneo alla funzione prevista abbattendone la durata teorica stimata durante il suo sviluppo concettuale e il progetto. Ognuno di tali fattori genera un tipico danno strutturale lasciando una

particolare traccia che una volta riscontrata esaminando un cuscinetto danneggiato, permette di risalire alla fonte dell'inconveniente, al fine di assumere i provvedimenti necessari per evitarne il ripetersi.

Tipologie di danneggiamento

Si identifica come danneggiamento primario in un cuscinetto ogni causa di cedimento che genera un danneggiamento caratteristico. Tale danneggiamento innesca a sua volta un altro danneggiamento detto danneggiamento secondario, costituito da sfaldature e da fessure.
Solitamente il danneggiamento di un cuscinetto è imputabile ad una combinazione di danneggiamento primario e secondario.
La classificazione delle tipologie di danneggiamento risulta essere la seguente:

DANNEGGIAMENTI PRIMARI
- usura;
- impronte;
- riporti;
- passaggio di corrente.

DANNEGGIAMENTI SECONDARI
- sfaldature;
- fessure.

DANNEGGIAMENTI PRIMARI: USURA

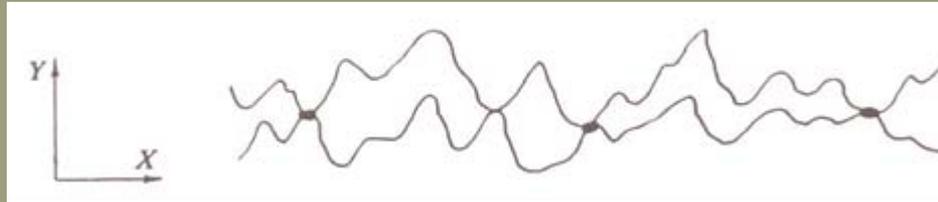
Generalità

Si definisce come usura la perdita superficiale di materiale che progressivamente si verifica sulla superficie di corpi a contatto soggette a moto relativo.
L'usura si presenta generalmente insieme all'attrito ma non può essere correlata ad esso in modo semplice ed univoco: esistono coppie di superfici che presentano un coefficiente di attrito basso ed un elevato tasso di usura e viceversa.
L'usura è classificata in base a quattro tipologie principali:

- usura adesiva;
- usura abrasiva;
- usura corrosiva;
- fatica superficiale.

Usura adesiva

L'usura adesiva si verifica quando, in corrispondenza delle asperità delle superfici a contatto, si formano delle microgiunzioni o microsaldature, che durante il moto relativo dei due corpi si frantumano.

Una tipica causa di usura è quando nel cuscinetto vi è scarsità di lubrificante oppure se questo ha perso le sue proprietà lubrificanti e non riesce a formarsi uno strato di lubrificante che abbia sufficiente capacità di carico e si verificano quindi contatti diretti metallo su metallo tra i corpi volventi e le piste di rotolamento.

Usura adesiva: il contatto ha inizio tra le creste superficiali più accentuate (in figura la scala in direzione Y è stata maggiorata rispetto a quella in direzione X)

Le creste delle asperità microscopiche, lasciate dalla lavorazione meccanica, si lacerano, e contemporaneamente subiscono l'azione laminante legata al carico. Ne risulta una superficie più o meno lucidata a specchio.

In assenza di moto, tra i corpi volventi e le piste non c'è film di lubrificante e quindi si verifica un contatto metallo su metallo. In conseguenza dei piccoli movimenti relativi provocati dalle vibrazioni, dalle superfici si staccano piccole particelle, che danno luogo alla formazione di piccoli avvallamenti, chiamati anche "false brinellature", e talvolta dentellature "ad asse da lavare".
Le sfere producono ovviamente avvallamenti sferici, mentre i rulli li producono di forma allungata. In molti casi è possibile scorgere sul fondo degli avvallamenti una colorazione ruggine, provocata dall'ossidazione all'aria delle particelle che si sono staccate e che hanno una grossa superficie rispetto al proprio volume. Sui corpi volventi invece non compare mai un danneggiamento visibile.

Anello esterno di un cuscinetto orientabile a rulli non lubrificato adeguatamente; le piste sono lucidate a specchio.

Rullo cilindrico con superficie lucidata a specchio a causa della scarsità di lubrificante.

Tanto maggiore è la vibrazione quanto sensibile è il danneggiamento , la cui evoluzione è anche influenzata dal tempo e dall'entità del gioco interno del cuscinetto; sembra che la frequenza delle vibrazioni non produca effetti significativi.
E' stato inoltre dimostrato come i cuscinetti a rulli sono più sensibili di quelli a sfere a questo tipo di danneggiamento, a motivo del fatto che le sfere possono ruotare in tutte

le direzioni, mentre nei rulli, che possono ruotare in una sola direzione attorno al proprio asse baricentrico, gli altri movimenti avvengono per strisciamento. I cuscinetti più soggetti a questo fenomeno sono quelli a rulli cilindrici.
Di solito si riscontrano danneggiamenti da vibrazioni sui cuscinetti di macchine che rimangono ferme e sono situate in prossimità di organi che producono vibrazioni.
Quando si prevede la possibilità di una costante presenza di vibrazioni, occorre provvedere già allo stato di progetto. Si devono quindi preferire cuscinetti a sfere anziché a rulli. Si può anche aumentare notevolmente la capacità dei primi a resistere senza danno alle vibrazioni precaricandoli con molle. Anche la lubrificazione a bagno di olio ha dimostrato essere una soluzione soddisfacente, in quanto mantiene sempre immerse le zone sotto carico dei corpi volventi. Si può anche prevedere un basamento in grado di smorzare le vibrazioni.
I cuscinetti delle macchine che devono essere trasportate si possono proteggere tenendo bloccati gli alberi, per impedire i piccoli movimenti tanto dannosi.

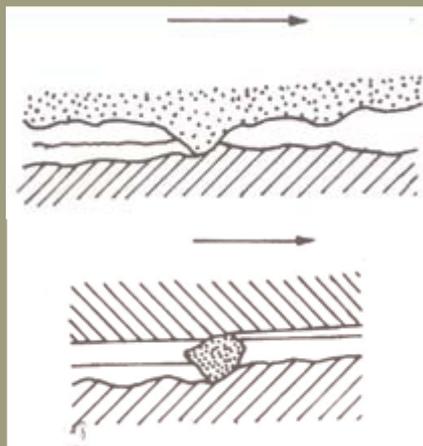
Anello esterno di un cuscinetto a rulli conici danneggiato da vibrazioni durante il funzionamento

Anello interno di un cuscinetto a rulli cilindrici danneggiato da vibrazioni. Il danneggiamento si è verificato quando il cuscinetto non era in rotazione. Dalle tracce più lievi esistenti tra gli avvallamenti più pronunciati (e con corrosioni sul fondo) è evidente che l'anello per brevi periodi ha mutato posizione.

Anello interno ed esterno di un cuscinetto a rulli cilindrici sottoposto a vibrazioni. L'anello interno ha mutato posizione.

USURA ADESIVA		
SEGNI CARATTERISTICI	**CAUSE**	**POSSIBILI RIMEDI**
Piccole impronte lungo la pista e sui corpi volventi . Superfici opache e usurate.	*Scarsa pulizia prima e durante le operazioni di montaggio.*	*Togliere il cuscinetto dall'imballo solo al momento del montaggio. Mantenere pulita l'officina, il tavolo di lavoro e servirsi di attrezzi puliti.*
Superfici usurate, spesso lucidate a specchio; con il passare del tempo, di colorazione dal blu al marrone.	*Il lubrificante è ormai consumato o ha perso le sue proprietà lubrificanti.*	*Assicurarsi che il lubrificante sia quello adatto alle condizioni di lavoro . Controllare che il lubrificante giunga al cuscinetto ; rilubrificare con maggiore frequenza.*
Piccoli avvallamenti nelle piste, di forma rettangolare nei cuscinetti a rulli e circolare in quelli a sfere. Il fondo di tali avvallamenti può presentarsi brillante oppure opaco e ossidato.	*Il cuscinetto è stato sottoposto a vibrazioni da fermo.*	*Imporre un precarico al cuscinetto durante il trasporto. Prevedere un basamento in grado di assorbire le vibrazioni Quando possibile, usare cuscinetti a sfere invece che a rulli. Se possibile, lubrificare a bagno d'olio.*

Usura abrasiva

Questo meccanismo di usura è imputabile alla azione di solcatura esercitata in un materiale più tenero o dalle sporgenze della rugosità superficiale del corpo accoppiato più duro (questa azione è evidentemente tanto più ridotta quanto minore è la rugosità superficiale del materiale più duro) o da particelle dure interposte tra i due corpi a contatto. Queste particelle possono provenire dall'ambiente circostante o essere generate da altri meccanismi di usura (adesiva).

Usura abrasiva: due diversi meccanismi di usura abrasiva

Anello esterno di un cuscinetto orientabile a rulli con le piste usurate da particelle abrasive. E' facile distinguere il confine tra la zona usurata e quella integra

Le piccole particelle abrasive, come sabbia e sfridi, entrate in qualche modo nel cuscinetto,

provocano usura delle piste, dei corpi volventi e della gabbia.
In tal caso le superfici diventano più o meno opache a seconda della grossezza e della natura delle particelle,
Talvolta dalla gabbia, se è di ottone, si staccano piccoli frammenti, che diventano di colore verderame e conferiscono al grasso una leggera tinta verdastra. La quantità di particelle abrasive aumenta gradualmente, man mano che il materiale delle superfici di rotolamento e della gabbia si usurano.
L'usura è quindi un processo accelerato, tanto che alla fine le superfici diventano via via così logore da rendere il cuscinetto inutilizzabile. Tuttavia non è sempre necessario scartare un cuscinetto che sia solo leggermente usurato, dato che lo si può ancora riutilizzare, dopo averlo ripulito.
All'interno del cuscinetto le particelle abrasive possono penetrare a causa della inefficienza delle tenute, ma possono esservi introdotte anche da un lubrificante contaminato o durante le operazioni di montaggio.

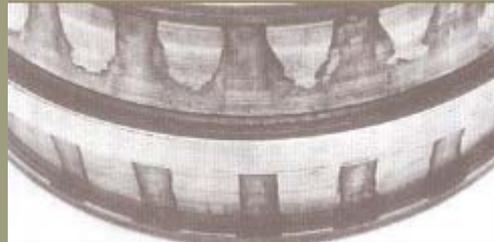
USURA ABRASIVA

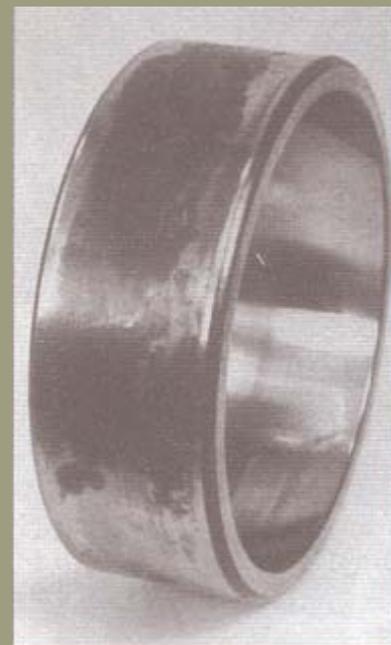
SEGNI CARATTERISTICI	CAUSE	POSSIBILI RIMEDI
Piccole impronte lungo la pista e sui corpi volventi. Superfici opache ed usurate.	*Scarsa pulizia prima e durante le operazioni di montaggio.*	*Togliere dall'imballo il cuscinetto solo al momento del montaggio. Mantenere pulita l'officina, il tavolo di lavoro e servirsi di attrezzi puliti.*
Grasso verdastro.	*Guarnizioni di tenuta inefficienti.*	*Verificare e, se è il caso, migliorare i sistemi di tenuta.*
	Lubrificante contaminato da particelle staccatesi da una gabbia di ottone.	*Usare sempre lubrificane fresco e pulito. Pulire gli ingrassatori. Filtrare l'olio. In presenza di un impianto di lubrificazione assicurarsi della sua perfetta funzionalità: efficienza delle tenute e del potere filtrante dei filtri.*

Usura corrosiva

Sulle superfici metalliche si formano degli strati di composti, dovuti alla azione chimica delle sostanze presenti nell'ambiente. Queste pellicole superficiali hanno di solito una azione protettiva sul metallo sottostante e se, a causa dello strisciamento, vengono asportate si riformano molto rapidamente.
In ambiente corrosivo, l'azione meccanica e quella chimica possono esaltare reciprocamente i rispettivi effetti: gli strati superficiali, chimicamente protettivi ma facilmente asportabili, vengono continuamente rimossi e subito si riformano: si innesca così un meccanismo di usura che può talvolta essere molto rapida.
I lubrificanti esercitano di solito una azione protettiva efficace contro l'usura corrosiva.
Nei cuscinetti si forma la ruggine quando l'acqua o le sostanze corrosive penetrano al suo interno in quantità tali che il lubrificante non riesce più a proteggere le superfici e l'acqua si sostituisce al lubrificante. Questo processo porta rapidamente alla cosiddetta ruggine profonda.
Se sulle superfici pulite dell'acciaio esposte all'aria si forma un sottile strato protettivo

di ossido, che però non è impenetrabile e, se l'acqua o le sostanze corrosive vengono in contatto con tali superfici, si formano macchie di attacco chimico, da cui si sviluppa in seguito la ruggine profonda.
La ruggine profonda è molto pericolosa per i cuscinetti, dato che può dare inizio a sfaldature e fessure.

Ruggine profonda sull'anello esterno di un cuscinetto a rulli cilindrici.

Attacco chimico esteso dovuto all'acqua presente sull'anello interno di un cuscinetto orientabile a rulli.

I liquidi acidi corrodono rapidamente l'acciaio, mentre le soluzioni alcaline sono meno dannose. I sali presenti nell'acqua formano con questa un elettrolita, che provoca una corrosione di tipo galvanico (”water etching”).
L'acqua marina è quindi molto dannosa per i cuscinetti in quanto è nota l'elevata aggressività dei cloruri presenti in percentuali più o meno elevate nell'acqua di mare.
Un altro tipo di corrosione è la ruggine di contatto.
Se viene oltrepassato il sottile film di ossido e l'ossidazione procede in profondità nel materiale si è in presenza di ruggine di contatto.

Ruggine di contatto (“fretting corrosion”) sull'anello esterno di un cuscinetto orientabile.

Ampio sviluppo di ruggine di contatto nel foro di un cuscinetto orientabile a sfere.

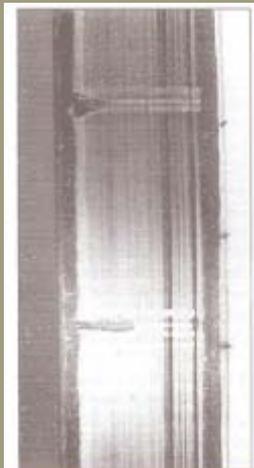
Un tipico esempio di tale fenomeno è la corrosione che si manifesta quando esiste un movimento reciproco tra l'anello del cuscinetto e la sua sede, allorché l'accoppiamento è troppo libero.
Questo tipo di danneggiamento si chiama ruggine di contatto o di accoppiamento o "fretting corrosion"e può essere in qualche caso relativamente profonda.
Il movimento reciproco può anche causare il distacco di piccole particelle di materiale, che si ossidano rapidamente una volta esposte all'ossigeno della atmosfera.
A causa della ruggine di contatto gli anelli dei cuscinetti possono non appoggiarsi più in maniera uniforme, cosa che compromette la corretta distribuzione del carico nei cuscinetti stessi.
Le zone arrugginite agiscono anche come innesco di fratture.

USURA CORROSIVA

SEGNI CARATTERISTICI	CAUSE	POSSIBILI RIMEDI
Zone di ruggine sulla superficie esterna dell'anello esterno o del foro di quello interno. *Traccia di lavoro sulle piste fortemente marcata nelle posizioni corrispondenti.*	*Accoppiamento troppo libero.* *Sedi sull'albero o nell'alloggiamento con errori di forma.*	*Riparare le sedi.*

Danneggiamenti primari: impronte

Generalità

Durante il funzionamento del cuscinetto possono comparire impronte sulle piste di rotolamento e sui corpi volventi. Questa situazione si verifica quando lo sforzo di montaggio viene applicato sull'anello sbagliato e quindi passa attraverso i rulli oppure quando il cuscinetto è soggetto a carichi anormali da fermo. Anche le particelle estranee possono provocare impronte.

Esempio di incauta manipolazione: sul rullo di un cuscinetto a due corone di rulli cilindrici è stato inferto un colpo di martello. Si sono quindi evidenziate su di esso due impronte diametralmente opposte ed a sua volta il rullo ha creato un'impronta sulla pista dell'anello esterno.

In questa situazione la distanza tra le impronte è la stessa di quella tra i corpi volventi.
Nei cuscinetti a rulli il danneggiamento assume la forma di un riporto di materiale e successivamente, se la pressione aumenta, quella di un'impronta .

Impronte provocate da particelle estranee

Le particelle estranee, come sfridi o sbavature, se penetrano nel cuscinetto, provocano impronte sulle piste quando su di esse transitano i corpi volventi.
Per procurare tali impronte non è necessario che si tratti di particelle dure: sono sufficienti sottili pezzi di carta o fili di tessuto utilizzato per asciugare.
Solitamente le impronte si vanno a distribuire lungo tutta la superficie di rotolamento ed hanno dimensioni contenute.

IMPRONTE		
SEGNI CARATTERISTICI	CAUSE	POSSIBILI RIMEDI
Impronte sulle piste di entrambe gli anelli distanziate come i corpi volventi.	*Sforzo di montaggio applicato sull'anello sbagliato.* *Sovraccarico a cuscinetto fermo.*	*Applicare lo sforzo di montaggio sull'anello che va montato forzato.* *Evitare i sovraccarichi o preferire altri cuscinetti con C0 più elevato.*
Impronte lungo piste di rotolamento e sulla superficie dei corpi volventi.	*Ingresso di corpi o particelle estranee nel cuscinetto.*	*Migliorare la pulizia del reparto di montaggio, utilizzare lubrificante pulito e migliorare l'efficienza dei sistemi di tenuta.*

Danneggiamenti primari: riporti di materiale

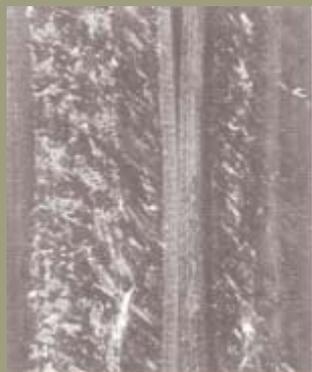
Generalità

Il riporto di materiale, meglio conosciuto come "smearing", si verifica quando due superfici di contatto non sufficientemente lubrificate strisciano una contro l'altra sotto carico applicato.
Le superfici a contatto diventano ruvide.
Causa l'attrito generato nei contatti con strisciamento e con insufficiente lubrificazione, si arriva fino a temperature prossime a quelle di tempra e nei materiali si creano tensioni che possono portare a fessure o sfaldature.
Nel caso dei cuscinetti a rulli si ha strisciamento localizzato soprattutto nella zona di contatto tra testata dei rulli e spallamenti.
Riporti di materiale possono verificarsi quando i rulli, sottoposti a forti accelerazioni, transitano nella sezione di cuscinetto coincidente al piano di applicazione del carico.

Riporti di materiale su rulli e spallamenti

Il danneggiamento con riporto di materiale nei cuscinetti a rulli si concentra principalmente sulle testate dei rulli a contatto con gli spallamenti e sulle facce degli spallamenti stessi.
Questo fatto è imputabile ad una lubrificazione insufficiente tra le superfici a contatto o

ad un forte carico assiale applicato nella stessa direzione per un lungo tempo.
Al contrario se il carico assiale fosse applicato in entrambi i sensi il problema risulta marginale in quanto il lubrificante ha maggiore probabilità di interporsi tra le due superfici. Questo tipo di inconveniente può essere in parte evitato utilizzando adatti lubrificanti con elevata untuosità e maggiore stabilità alla viscosità.

Testata di un rullo cilindrico con evidenti segni di riporto di materiale a causa di carichi assiali elevati e insufficiente lubrificazione .

Ingrandimento di spallamento di guida rulli con danneggiamento a causa di riporti di materiale.

Riporti di materiale su piste di rotolamento

Un caso di errato montaggio dei cuscinetti a rulli cilindrici è quello in cui l'anello che porta i rulli e la gabbia sono montati sull'altro anello di traverso e senza ruotarlo. In tale caso i rulli danneggiano l'anello e generano riporti di materiale sotto forma di striature trasversali. Anche i rulli si danneggiano.

Cuscinetto a rulli cilindrici con striature sulla pista di rotolamento dell'anello interno e sui rulli a causa di errate operazioni di montaggio.

Questo tipo di danneggiamento può essere evitato lubrificando correttamente il cuscinetto e ruotando uno dei due anelli.

RIPORTI		
SEGNI CARATTERISTICI	**CAUSE**	**POSSIBILI RIMEDI**
Testate dei rulli e facce degli spallamenti ruvide e colorate.	*Strisciamento in presenza di elevati carichi e con insufficiente lubrificazione.*	*Utilizzare adatti lubrificanti.*
Riporti sulle piste di rotolamento dei cuscinetti a rulli cilindrici sotto forma di striature trasversali posizionate alla stessa distanza a cui sono i rulli.	*Durante le operazioni di montaggio, l'anello munito di gabbia e rulli è stato disposto obliquamente rispetto all'altro anello.*	*Ruotare l'anello interno o quello esterno quando lo si monta.* *Lubrificare bene le superfici.*

Danneggiamenti primari: passaggio di corrente elettrica

Questa tipologia di danneggiamento viene spesso ignorata in quanto risulta essere più rara delle precedenti ma quando si verifica produce importanti conseguenze.
Si ha passaggio di corrente elettrica attraverso un cuscinetto quando la corrente si trasmette da un anello all'altro attraverso i corpi volventi; si verifica un danneggiamento perché laddove si ha il contatto il processo è simile ad un arco di saldatura.
Il materiale interessato viene riscaldato a temperature dell'ordine di quelle di rinvenimento fino a giungere in prossimità di quelle di fusione.

In tale situazione vengono create delle zone colorate, di varie dimensioni, in cui il materiale è rinvenuto, ritemprato o fuso.
Laddove il materiale fonde si creano dei piccoli crateri. Il passaggio di corrente elettrica porta spesso alla formazione di dentellature sulle piste e sui rulli.
Questo tipo di danneggiamento può essere confuso con quello generato da vibrazioni.
La differenza sta nel fatto che le cavità generate da corrente elettrica hanno il fondo scuro mentre quelle generate da vibrazioni hanno fondo brillante o di aspetto color ruggine.

Sono dannose per il cuscinetto sia la corrente alternata che la corrente continua così come la corrente di bassa intensità.

L'entità del danneggiamento dipende da molti fattori:

- intensità della corrente elettrica;
- durata del passaggio di corrente;
- carico sul cuscinetto;
- velocità di rotazione del cuscinetto;
- lubrificante.

Esistono diversi modi per evitare il passaggio di corrente nei cuscinetti ed il più agevole risulta essere quello di provvedere all'isolamento dei motori elettrici.

PASSAGGIO DI CORRENTE ELETTRICA		
SEGNI CARATTERISTICI	**CAUSE**	**POSSIBILI RIMEDI**
Dentellature o crateri di colore scuro sulle piste di rotolamento e sui rulli.	*Passaggio di corrente elettrica attraverso il cuscinetto in rotazione.*	*Fare in modo che la corrente non passi attraverso il cuscinetto. Usare cuscinetti isolati.*
Bruciature localizzate sulle piste di rotolamento e sui corpi volventi.	*Passaggio di corrente elettrica attraverso il cuscinetto fermo.*	*Fare in modo che la corrente non attraversi il cuscinetto. Usare cuscinetti isolati.*

Danneggiamenti secondari: sfaldature

Le sfaldature (conosciute anche come “flaking” o “spalling”), classificate come un danneggiamento di tipo secondario, sono la conseguenza del normale affaticamento del materiale una volta che il cuscinetto ha raggiunto la sua normale durata, di ruggine, di passaggi di corrente, di riporti di materiale. Quanto appena detto non è la usuale causa di danneggiamento in quanto le sfaldature riscontrate sui cuscinetti sono attribuibili anche ad altre cause:

- carichi esterni superiori a quelli previsti;
- contrasto assiale (es.: dilatazioni dell’albero).
- ovalizzazione delle sedi;

Solitamente ci si accorge di una sfaldatura quando si avvertono rumorosità e vibrazioni nel cuscinetto che deve quindi essere sostituito.

SFALDATURE		
SEGNI CARATTERISTICI	**CAUSE**	**POSSIBILI RIMEDI**
Tracce di lavoro molto marcate sulle piste di entrambi gli anelli.	*Precarico da eccessivo forzamento degli anelli*	*Modificare l’accoppiamento o scegliere cuscinetti con maggiore gioco interno.*
Sfaldature nella zona maggiormente caricata.	*Eccessiva differenza di temperatura tra l’anello interno e l’anello esterno.*	*Scegliere cuscinetti con maggiore gioco interno.*
Tracce di lavoro molto marcate in due posizioni diametralmente opposte dell’anello. Sfaldature in tali zone.	*Sede ovalizzata sull’albero o nell’alloggiamento.*	*Costruire un nuovo albero o un nuovo alloggiamento.*
Sfaldature sullo spigolo della pista.	*Cuscinetto montato obliquo.*	*Utilizzare una bussola di montaggio con facce parallele.*
Sfaldature all’inizio della zona sotto carico sulla pista dei cuscinetti.	*Riporti di materiale dovuti a slittamento.*	
Sfaldature distanziate come i corpi volventi e sulle piste di rotolamento.	*Riporti di materiale trasversali dovuti a pratiche di montaggio errate.*	
Sfaldature originate da ruggine.	*Ruggine profonda.*	
Sfaldature sulla pista di uno dei due anelli. Zona corrosa nella corrispondente parte della superficie diametrale esterna o del foro del cuscinetto.	*Ruggine di contatto.*	

Danneggiamenti secondari: fessure

Negli anelli dei cuscinetti le fessure si possono formare per vari motivi:

- incauta manipolazione durante le operazioni di montaggio e di smontaggio;
- colpi di martello inferti sugli anelli;
- montaggio forzato a caldo di un anello su un albero fuori tolleranza;
- riporti, ruggine di contatto e sfaldature.

FESSURE

SEGNI CARATTERISTICI	CAUSE	POSSIBILI RIMEDI
Fessure o frammenti che si staccano, generalmente su una facciata dell'anello.	*Colpi inferti all'anello, in occasione del montaggio, con un martello o uno scalpello duro.*	*Interporre sempre un manicotto di materiale tenero. Non colpire mai direttamente il cuscinetto.*
Fessure e riporti di materiale sull'anello. L'anello può essere spaccato in senso trasversale. Le fessure da riporti si formano di solito trasversalmente rispetto all'andamento di questi.	*Riporti.*	